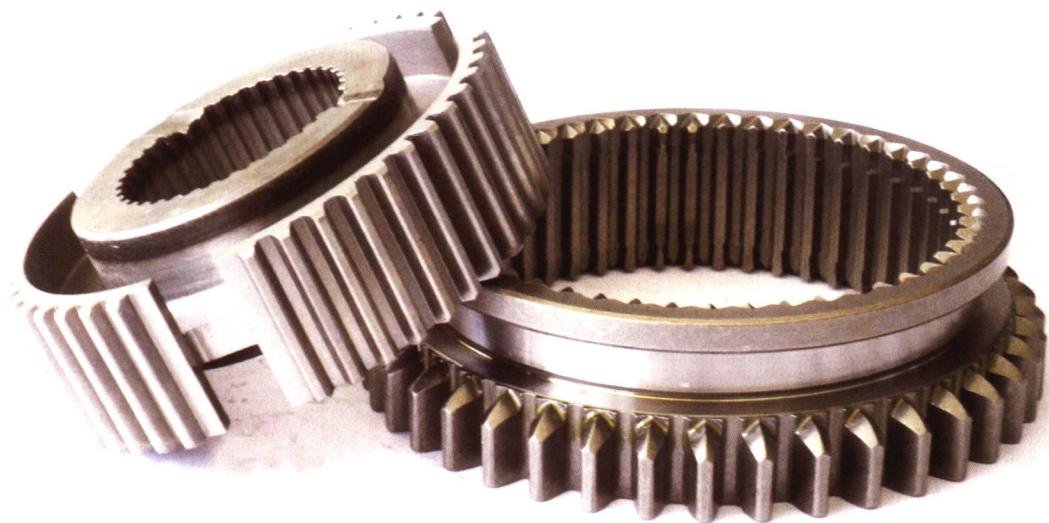




汽车变速器设计中为了实现平顺换挡，通常将各传动齿轮的结合齿设计成带锥面，以装配同步环，实现齿轮与同步器间的同步，达到平顺换挡的效果。而齿轮结合齿的锥面尺寸直接影响到同步环的同步效果，从而影响到变速器换挡的平顺性。齿轮结合齿的锥面尺寸主要由齿轮热处理后进行磨加工进行保证，本文主要浅谈该位置尺寸的主要控制要素及常见问题的预防措施。

结合齿锥面尺寸对变速器换挡力的分析

□ 上海汽车变速器有限公司 / 时李杰

目前某汽车手动变速器上采用的是惯性同步器来实现变速器换挡，惯性同步器主要由同步器总成、同步环和齿轮结合齿锥面等组成，主要依靠同步环与结合齿锥面间的摩擦作用实现同步，同步环的内锥面与待接合齿轮结

合齿锥面接触产生摩擦，锥面摩擦使得待啮合的齿套与齿轮迅速同步，同时又会产生一种锁止作用，防止齿轮在同步前进行啮合。当同步环内锥面与待接合齿轮结合齿锥面接触后，在摩擦力矩的作用下，齿轮转速迅速降低

（或升高）到与同步环转速相等，两者同步旋转，齿轮相对于同步锁环的转速为零，因而惯性力矩也同时消失，这时在作用力的推动下，接合套不受阻碍地与同步环齿圈接合，并进一步与待接合齿轮的结合齿接合而完成换

挡过程。

影响变速器同步系统同步的主要因素

对于单锥面同步器齿环，变速器的同步器系统的同步时间与换挡力的主要关系如下：

t_s = (J * Δω * sin θ) / (F * μ_c * R_c - M_c * sin θ)

式中，t_s是同步时间，单位为s；J是转动惯量，单位为kg/m²；Δω是速度差，单位为m/s；F是换挡力，单位为N；M_c是同步力矩，单位为N·m；μ_c是摩擦系数，θ是锥面角度，单位为°；R_c是结合齿锥面上的作用半径，单位为m。

从同步系统为单锥面齿环的同步时间与换挡力的关系可以得出，影响同步系统同步时间的主要因素有结合齿锥面的摩擦系数，结合齿锥面的作用半径，结合齿锥面角度，即结合齿锥的表面粗糙度、结合齿锥面角度、结合齿锥面的锥高尺寸。在结合齿锥面的加工过程中应对以上三个点要素进行严格控制，确保尺寸符合要求，避免尺寸出现不合格而影响变速器的同步系统的同步。

1. 结合齿锥表面粗糙度对同步效果的影响

结合齿锥的表面粗糙度值Ra一般要求控制在0.3~0.8 μm以内。如表面粗糙度过大会导致同步环在同步的过程中同步环锥面与结合齿锥面的摩擦系数变大，在同步的过程中同步齿环与结合齿锥面无法及时脱出，导致无法实现同步，容易造成同步环因受摩擦力过大而瞬

间烧蚀，或是同步环还未同步时就卡死，在挂挡过程中受冲击而断裂，从而导致变速器退挡过程中异响，同时也会引起换挡力的平顺性和同步齿环的异常磨损。如表面粗糙度过小，会导致锥面的摩擦系数变小，会增加同步时间；同时锥的表面粗糙度过小，会影响变速器在工作的过程中结合齿锥面油膜的形成，导致同步环与齿轮结合齿锥面的润滑不足，在非结合状态下，同步环与齿轮结合齿锥面干摩擦，导致变速器总成异响。

对于换挡性能要求较高的变速器，可对粗糙度增加Rz的要求。图1是结合齿锥面不同粗糙度状态下，变速器在整车上测试换挡力的对比试验。以一挡为例，左图结合齿锥表面粗糙度值Ra=2.5 μm，右图结合齿锥表面粗糙度值Ra=0.7 μm。通过检测频谱可以明显看到结合齿锥表面粗糙度大的主动一档齿轮，在与同步环接触时，由于摩擦力较大，因此在挂挡的过程中换挡力平顺性较差。

2. 结合齿锥面锥度锥高尺寸对同步效果的影响

结合齿锥面的锥度是指结合齿锥面相对于齿轮轴向的角度，结合

齿锥高角度决定了结合齿锥面的锥高尺寸，锥高尺寸则决定了同步环与结合齿锥面的有效接触面积，而有效接触面积的多少将会影响结合齿锥面与齿环锥面之间的摩擦力。同理，根据锥面粗糙度对换挡平顺性的影响得出，摩擦力过大或过小都直接影响同步系统的同步效果，易引起换挡的过程中变速器打齿异响；结合齿的锥高尺寸是指结合齿锥面的理论作用直径与齿轮端面的距离，该尺寸还会影响到同步系统在工作过程中同步环的有效作用直径，锥高尺寸超差会导致同步环与齿轮结合齿锥面的同步容量发生变化，导致换挡时打齿。

齿轮结合齿锥面加工过程的主要问题及控制措施

齿轮结合齿锥面一般采用零件热处理后外圆精磨的方式进行加工，常见的缺陷主要有磨削面表面粗糙度不合格、锥度尺寸超差和锥高尺寸不稳定等（见图2）。

1. 齿轮结合齿锥表面粗糙度不合格的优化措施

磨加工过程中影响结合齿锥表面粗糙度的主要因素有砂轮的型号

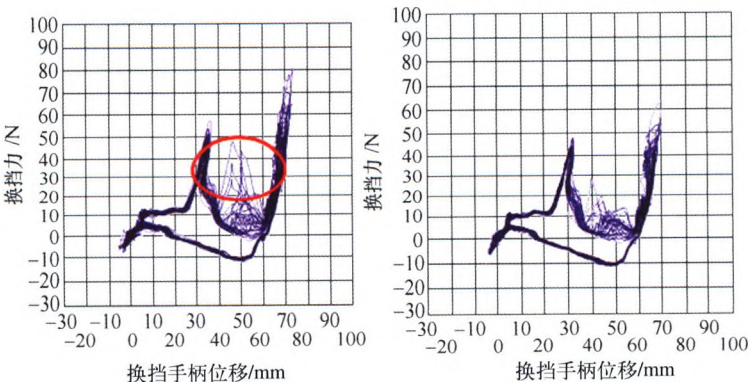


图1 结合齿锥表面粗糙度对换挡力影响的图谱

选择、磨加工的工艺参数设定、工装夹具检查及维护（加工过程由于夹具松动易引起加工面出现振纹而导致的粗糙度不合格）和砂轮的修整等（具体见附表），同时砂轮的修整频次以及修整砂轮的金刚笔的质量也会影响到产品的粗糙度，加工过程中可以采用增加抽检频次的方法对粗糙度进行加强控制。

2. 齿轮结合齿锥面锥度尺寸不合格的优化措施

结合齿的锥面锥度尺寸主要由机床的角度保证，在首件加工时必须将机床的角度调整到位，并对首件锥度尺寸测量合格后方能开始批量加工，在加工的过程中应注意设备是否出现异常情况，并增加过程检验确保锥面锥度尺寸合格。

3. 齿轮结合齿锥面锥高尺寸不合格的优化措施

在磨加工结合齿锥面的过程中锥高尺寸出现超差的故障最为常见，主要与设备的精度以及砂轮的磨损量有关，在加工的过程中设备的过程能力差是导致该尺寸超差的主要原因，可以对加工设备进行升级改造，提高加工设备的精度（改造前后过程能力见图3），同时为了避免现场员工在操作的过程中因操作不当碰到加工设备主动量仪而导致尺寸出现偏差，可以在主动量仪上增加辅助工装，防止员工操作不当而导致主动量仪的基准尺寸出现偏差。

齿轮结合齿锥面的锥度和锥高尺寸因此两尺寸测量时需要采用三坐标进行测量，测量较为不方便，可以通过制作专用检具对此两个尺

影响表面粗糙度的主要因素及措施

原因	对应措施
砂轮砂粒的粗细	锥面表面粗糙度要求较高的零件，应选择砂粒目数较高的砂轮进行加工
砂轮的转速	砂轮的转速越高，加工的零件表面粗糙度越好
磨削余量	磨削余量越小，加工出的零件表面粗糙度越好
磨削进给量	砂轮单次进给量越小，加工出的零件表面粗糙度越好
修整砂轮的频次	砂轮修整的频次越高，表面粗糙度的一致性越好
修整砂轮金刚笔的质量	金刚笔的质量越好，砂轮的表面修整越好

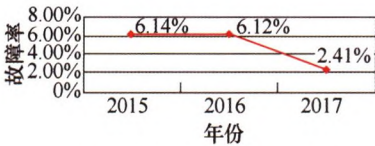


图2 因齿轮结合齿锥面缺陷影响装配的比例

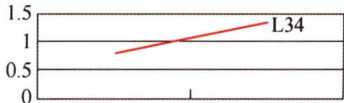


图3 设备改造前后过程能力对比

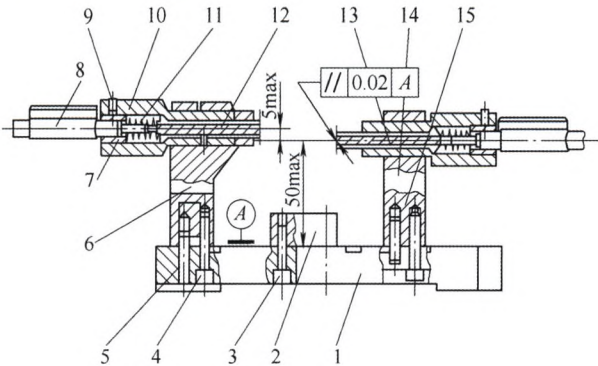


图4 锥度锥高检具示意

1. 底座 2. 挡块 3. 内六角圆柱头螺钉M6×20 4. 内六角圆柱头螺钉M6×25
5. 内螺纹圆柱销 6. 后表座 7. 夹紧套 8. 千分表 9. 紧定螺钉M5×8 10. 表接套
11. 弹簧 12. 测杆 13. 销 14. 前表座 15. 圆柱销

寸进行100%对比测量（见图4），避免不合格的零件流出。

结语

齿轮结合齿的锥面尺寸直接影响到手动变速器同步系统的同步效果，结合齿锥面尺寸必须通过设备和磨加工砂轮的选择以及加工工艺的设定上对加工过程中可能出现的问题进行预防，避免零件在加工过程中出现不合格时应通过制定相应的检测措施，加强对加工过程和成品检验的监控，避免不合格的零件流入到下道工序进行装配而影响变速器的换挡。 **AUTO1950**



时李杰：2007年9月——2016年10月，上海汽车变速器有限公司，任职供应商质量工程师SQE一职。2016年10月至今，目前一直外派在柳州上汽汽车变速器有限公司担任质量经理职务，公司目前年产150万台变速器。